

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Denis TOULLIER, et al.

Appln. No.: 09/597,081

Filed: June 20, 2000



Attorney Docket Q59763

Group Art Unit: 2733

Examiner: Not yet assigned

For: MULTIBAND RAMAN AMPLIFIER

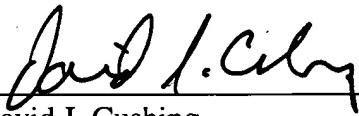
SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,



David J. Cushing
Registration No. 28,703

SUGHRUE, MION, ZINN,
MACPEAK & SEAS, PLLC
2100 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20037-3212
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

Enclosures: CERTIFIED COPY OF FRENCH APPLICATION NO. 9907814

Date: OCT 11 2000



09/597, 081
Q 59763
1571

BREVET D'INVENTION



CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 JUIN 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE'.

Martine PLANCHE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE	SIEGE 26 bis, rue de Saint Petersbourg 75800 PARIS Cedex 08 Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30
---	--

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

21 JUIN 1999

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9907814

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

75 INPI PARIS

DATE DE DÉPÔT

21 JUIN 1999

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

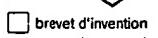
brevet d'invention demande divisionnaire



demande initiale

certificat d'utilité

transformation d'une demande
de brevet européen



brevet d'invention

Établissement du rapport de recherche

différé immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

oui non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

AMPLIFICATEUR RAMAN A BANDES MULTIPLES

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN 5 4 2 0 1 9 0 9 6

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Forme juridique

ALCATEL

Société anonyme

Nationalité (s) **Française**

Adresse (s) complète (s)

Pays

**54 rue La Boétie
75008 PARIS**

FRANCE

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

oui

non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

requise pour la 1ère fois

requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR DU MANDATAIRE
(nom et qualité du signataire)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

DEPARTEMENT DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR
(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

790 7814

F° 102347PA - LA/SND

TITRE DE L'INVENTION :

AMPLIFICATEUR RAMAN A BANDES MULTIPLES

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

Société anonyme :
ALCATEL

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

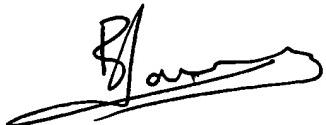
- BLONDEL Jean-Pierre
6 rue Louis Pasteur
78530 BUC, FRANCE
- BRANDON Eric
29 rue Jean Mermoz
92340 BOURG LA REINE, FRANCE
- LE ROUX Patrice) c/o ALCATEL SUBMARINE NETWORKS
- TOULLIER Denis) Centre de Villarceaux

) 91625 NOZAY CEDEX, FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (~~signature demandée~~) du mandataire

18.06.1999 PARIS



B. LAMOUREUX

AMPLIFICATEUR RAMAN A BANDES MULTIPLES

La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibres optiques, et notamment les systèmes de transmission sans répéteurs. Elle s'applique 5 notamment aux systèmes de transmission à fibre optique, utilisant un multiplexage de longueur d'onde (en anglais "wavelength division multiplexing ou WDM).

Une des solutions connues pour la transmission de signaux dans des fibres optiques consiste à disposer à intervalles réguliers le long du système de transmission des amplificateurs optiques, et notamment des amplificateurs à fibre optique dopée à 10 l'erbium. Une telle solution est par exemple décrite dans Bergano, Long haul WDM transmission using optimum channel modulation : 32 x 5 Gbit/s 9300 km demonstration, OFC'97 post deadline 16. Les distances de transmission dans un tel système sont limitées par le rapport signal sur bruit, et notamment par la présence de bruit d'amplification spontanée (ASE, acronyme de l'anglais "amplification 15 spontaneous noise") généré dans les amplificateurs.

Il a aussi été proposé dans un article Morten Nissov et autres, 100 Gb/s (10x10 Gb/s) WDM transmission over 7200 km using distribution Raman amplification, OFC'97, post deadline paper, d'utiliser dans un système de transmission uniquement une amplification distribuée par effet Raman stimulé (SRS, 20 acronyme de l'anglais "Stimulated Raman Scattering") pour l'amplification à intervalles réguliers du signal. Cette solution permet une amélioration du rapport signal sur bruit d'environ 2 dB par rapport à une solution comparable utilisant uniquement des pompes discrètes. Une description de l'effet Raman est donnée dans l'ouvrage de G.P. Agrawal, Nonlinear Fibre Optics, Academic Press 1980.

25 P.B. Hansen et autres, Unrepeated WDM Transmission Experiment with 8 Channels of 10 Gb/s over 352 km, IEEE Photonics Technology Letters vol. 8 no. 8, August 1996, pages 1082-1084 décrit un système de transmission sans répéteurs, avec un pompage à distance de sections de fibres dopées à l'erbium. Ces sections de fibres sont disposées à distance de l'émetteur et du récepteur dans le système de 30 transmission, et sont pompées par des sources respectivement situées dans le récepteur et dans l'émetteur.

La demande de brevet français déposée le 28.12.98 sous le numéro 98 16496 et portant le titre "Amplification quasi-distribuée dans un systèmes de

"transmission à fibre optique" propose un répéteur pour un système de transmission à fibre optique, qui comprend un amplificateur discret, par exemple un amplificateur constitué d'une fibre dopée à l'erbium, avec au moins une pompe pour produire une amplification par effet Raman stimulé dans la fibre de ligne.

- 5 Un des problèmes rencontrés dans l'amplification par effet Raman est celui de la longueur d'onde des pompes utilisées; ce problème se pose notamment pour l'amplification par effet Raman de signaux multiplexés en longueur d'onde, qui s'étendent sur une plage de longueurs d'onde importante. Ce problème est mentionné dans S.V. Chernikov et autres, Broadband Raman amplifiers in the
 10 spectral range of 1480-1620 nm, OFC'99, WG6, pages 117-119. La solution proposée dans ce document consiste à cascader des amplificateurs présentant des longueurs d'onde de pompage différentes, ou encore de coupler dans un amplificateur unique des pompes à longueurs d'ondes multiples.

- 15 Ce document ne mentionne pas de solution pour permettre de coupler dans un amplificateur de telles pompes à longueurs d'ondes multiples.

L'invention propose une solution à ce problème ; cette solution est simple et efficace et peut être mise en œuvre avec un nombre limité de composants classiques en optronique. Elle assure une amplification continue, sans interruption dans la bande utile.

- 20 Plus précisément, l'invention propose , un dispositif pour injecter dans une fibre des signaux provenant de plusieurs sources à des longueurs d'ondes distinctes, comprenant :

- une première source de signaux ;
- un premier circulateur avec une première entrée reliée à la première source ;
- une deuxième source de signaux ;
- un deuxième circulateur avec une première entrée reliée à la deuxième source de signaux à travers des moyens de réflexion des signaux provenant de la première source, une troisième entrée reliée à une deuxième entrée du premier circulateur, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des première et deuxième sources de signaux.

Dans un mode de réalisation, le dispositif comprend en outre :

- une troisième source de signaux ;

- un troisième circulateur avec une première entrée reliée à la troisième source de signaux à travers des moyens de réflexion des signaux provenant des première et deuxième sources, une troisième entrée reliée à la deuxième entrée du deuxième circulateur, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des
- 5 première, deuxième et troisième sources de signaux.

Dans ce cas, le dispositif peut encore comprendre en outre :

- une n-ième source de signaux ;
 - un n-ième circulateur, avec une première entrée reliée à la n-ième source de signaux à travers des moyens de réflexion des signaux provenant des sources de
- 10 rang inférieur à n, une troisième entrée reliée à la deuxième entrée du circulateur de rang n-1, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des sources de signaux de rang 1 à n,

avec n un entier variant de 4 à M, M étant le nombre total de sources injectées .

- 15 Avantageusement, chacune des sources de signaux comprend une pompe.

Dans un mode de réalisation, les moyens de réflexion comprennent des réseaux de Bragg.

L'invention propose encore un amplificateur comprenant un tel dispositif pour l'injection des signaux de pompe, et une fibre d'amplification reliée à la

20 deuxième sortie du circulateur de rang le plus élevé.

De préférence, la fibre d'amplification est une fibre de ligne.

Dans un autre mode de réalisation, la fibre d'amplification n'est pas une fibre de ligne.

- Avantageusement, l'amplification s'effectue dans la fibre d'amplification par
- 25 diffusion Raman stimulée.

L'invention propose enfin un système de transmission à fibre optique comprenant un tel amplificateur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnée à titre

- 30 d'exemple et en référence aux dessins annexés, qui montrent
- figure 1, une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'un amplificateur selon l'invention ;

- figure 2, une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation d'un amplificateur selon l'invention.

L'invention propose, pour coupler plusieurs pompes dans une fibre, d'utiliser pour injecter chacune des pompes des circulateurs montés en cascade. Entre chaque 5 pompe et son circulateur est prévu un réflecteur réfléchissant les pompes déjà injectées. L'invention permet de la sorte d'injecter simplement dans une fibre un ensemble de pompes, à différentes longueurs d'onde, sans atténuer significativement lors de l'injection d'une pompe les signaux provenant des pompes précédentes.

La figure 1 montre une représentation schématique d'un premier mode de 10 réalisation d'un amplificateur selon l'invention; le mode de réalisation de la figure 1 est appliqué à un système de transmission par fibre optique sans répéteurs.

Apparaît à la figure 1 l'émetteur TX 1, la fibre de ligne 2, et le terminal de réception 3. Celui-ci comprend un récepteur 5; ces éléments sont connus en soi et ne sont pas décrits plus en détail, leur fonctionnement n'étant pas nécessaire à 15 l'intelligence de l'invention. Est prévue en outre une pré-amplification distribuée par diffusion Raman stimulée, qui utilise trois pompes contra-propagatives, à 1450, 1500 et 1550 nm. La première pompe 7 à 1500 nm est injectée dans la fibre de ligne par un premier circulateur 8, adjacent au récepteur 5 dans le terminal 3. Le circulateur présente de façon connue en soi trois entrées; la première entrée reçoit le signal de 20 la pompe; la deuxième entrée reçoit les signaux provenant de la fibre de ligne, et la troisième entrée est reliée au récepteur. De la sorte, les signaux de la pompe arrivant sur la première entrée sont transmis vers la deuxième entrée, et sont donc envoyés dans la fibre de ligne dans un sens de propagation opposé à celui du signal; les signaux provenant de la fibre de ligne et arrivant sur le circulateur par sa deuxième 25 entrée sont transmis vers la troisième entrée et vers le récepteur. Aucun signal ne provient du récepteur sur la troisième entrée du circulateur.

La deuxième pompe 10 à 1450 nm est injectée dans la fibre de ligne par un deuxième circulateur 11, adjacent au premier circulateur. Entre le deuxième circulateur et la deuxième pompe est prévu un réflecteur 12, par exemple un réseau 30 de Bragg, qui réfléchit les signaux de la première pompe. Le deuxième circulateur est aussi un circulateur à trois entrées; la première entrée reçoit le signal de la deuxième pompe; la deuxième entrée reçoit les signaux provenant de la fibre de ligne, et la troisième entrée est reliée à la deuxième entrée du premier circulateur. De la sorte,

- les signaux de la deuxième pompe arrivant sur la première entrée sont transmis vers la deuxième entrée, et sont donc envoyés dans la fibre de ligne dans un sens de propagation opposé à celui du signal; les signaux provenant de la fibre de ligne et arrivant sur le circulateur par sa deuxième entrée sont transmis vers la troisième
- 5 entrée et vers le récepteur via le premier circulateur. Le signal de la première pompe provenant du premier circulateur entre dans le deuxième circulateur sur sa troisième entrée; il est transmis vers la première entrée, est réfléchi par le réflecteur, et entre à nouveau dans le circulateur par la première entrée; il est enfin transmis vers la deuxième entrée du deuxième circulateur, et donc vers la fibre de ligne. On trouve
- 10 donc en amont du deuxième circulateur dans la fibre de ligne les signaux des première et deuxième pompes.

La troisième pompe 14 à 1400 nm est injectée de façon similaire dans la fibre de ligne, par un troisième circulateur 15, adjacent au deuxième circulateur. Entre le troisième circulateur et la troisième pompe sont prévus deux réflecteurs 16 et 17, par exemple des réseaux de Bragg, qui réfléchissent les signaux de la première pompe et de la deuxième pompe. Le troisième circulateur est aussi un circulateur à trois entrées; la première entrée reçoit le signal de la troisième pompe; la deuxième entrée reçoit les signaux provenant de la fibre de ligne, et la troisième entrée est reliée à la deuxième entrée du deuxième circulateur. De la sorte, les signaux de la

15 troisième pompe arrivant sur la première entrée sont transmis vers la deuxième entrée, et sont donc envoyés dans la fibre de ligne dans un sens de propagation opposé à celui du signal; les signaux provenant de la fibre de ligne et arrivant sur le circulateur par sa deuxième entrée sont transmis vers la troisième entrée et vers le récepteur via le premier circulateur et le deuxième circulateur. Les signaux de la

20 première pompe et de la deuxième pompe provenant du deuxième circulateur entrent dans le troisième circulateur sur sa troisième entrée; ils sont transmis vers la première entrée, sont réfléchis par les deux réflecteurs, et entre à nouveau dans le troisième circulateur par la première entrée; il est enfin transmis vers la deuxième entrée du troisième circulateur, et donc vers la fibre de ligne. On trouve donc en

25 amont du troisième circulateur dans la fibre de ligne les signaux des première, deuxième et troisième pompes.

L'invention permet d'obtenir en amont du terminal 3 l'ensemble des signaux des trois pompes, dans la fibre de ligne, dans la direction indiquée par la flèche sur

la figure, i. e. dans une direction contraire à la direction de propagation des signaux; il apparaît clairement du fonctionnement du montage de la figure 1 que l'injection des signaux des deuxième et troisième pompes dans la fibre de ligne par les deuxième et troisième circulateurs n'atténue en aucune façon les signaux provenant 5 des pompes précédentes. On obtient grâce à l'invention un signal de pompe à bandes multiples, qui permet un pompage sur une large plage de longueurs d'onde, sans pertes d'insertion des différentes pompes. On obtient de la sorte une pré-amplification par effet Raman dans la fibre de ligne, en amont du terminal 3.

Pour ce qui est des signaux arrivant dans le récepteur, ils traversent 10 successivement les troisième, deuxième et premier circulateurs, avant d'arriver au récepteur. Du fait du rendement des circulateurs, les pertes sont minimes; on peut typiquement obtenir des pertes d'insertion des circulateurs qui sont inférieures à environ 1 dB.

Dans le mode de réalisation de la figure 1, on peut utiliser des pompes de 15 nature quelconque, et par exemple des pompes à semi-conducteurs; on peut utiliser comme réflecteurs des réseaux de Bragg, qui présentent l'avantage d'être transparent pour les signaux provenant directement des pompes. D'autres réflecteurs peuvent aussi être utilisés.

La figure 2 montre une représentation schématique d'un deuxième mode de 20 réalisation d'un amplificateur selon l'invention. Dans le mode de réalisation de la figure 2, l'amplificateur est un amplificateur discret 20. On retrouve comme dans le montage de la figure 1 la première pompe 7, le premier circulateur 8, la deuxième pompe 10, le deuxième circulateur 11, le réflecteur 12, la troisième pompe 14, le troisième circulateur 15, et les deux réflecteurs 16 et 17. Ces éléments sont disposés 25 et fonctionnent comme les éléments correspondants de la figure 1, et ne sont pas décrits à nouveau.

Une fibre d'amplification 21 est reliée à la deuxième sortie du troisième circulateur; on peut par exemple utiliser une fibre à faible aire efficace, de sorte à améliorer le rendement de l'amplification par effet Raman. A l'autre extrémité de la 30 fibre 21 est prévu un isolateur 23, empêchant la propagation ultérieure des signaux de pompage vers la fibre de ligne. L'isolateur empêche en outre les oscillations possibles, du fait du gain dans l'amplificateur discret et des réflexions à l'extérieur de celui-ci. L'entrée de l'isolateur constitue l'entrée de l'amplificateur 20; on pourrait bien

entendu prévoir encore des filtres ou d'autres composants sans rapport avec l'invention.

Du côté de la sortie de l'amplificateur, la fibre de ligne 25 est reliée à la troisième entrée du premier circulateur.

- 5 Le montage de la figure 2 constitue donc un amplificateur discret par diffusion Raman stimulée, avec une amplification sur une large bande; comme dans le cas de la figure 1, le montage de la figure 2 permet d'injecter dans la fibre d'amplification plusieurs pompes, dans que l'injection des nouvelles pompes n'atténue significativement les signaux des pompes déjà injectées.
- 10 Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. Ainsi, il est clair que l'invention n'est pas limitée l'injection de trois pompes, et qu'elle pourrait être utilisée pour l'injection de deux pompes, ou de quatre pompes ou plus. Dans un tel cas, pour injecter M
- 15 pompes, l'invention propose d'utiliser, outre les éléments déjà décrits aux figures 1 et 2, pour la n-ième pompe un n-ième circulateur, avec une première entrée reliée à la n-ième pompe à travers des moyens de réflexion des signaux provenant des pompes de rang inférieur à n, une troisième entrée reliée à la deuxième entrée du circulateur de rang n-1, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des pompes
- 20 de rang 1 à n; n est alors un entier variant de 4 à M, M étant le nombre total de pompes injectées .

Dans les modes de réalisation des figures, on a appliqué l'invention à l'injection de pompes pour l'amplification par diffusion Raman stimulée; l'invention pourrait être appliquée à d'autres usages, dans lesquels on souhaite injecter plusieurs

25 signaux dans des bandes distinctes dans une fibre, sans que l'injection de nouveaux signaux n'entraîne d'atténuation des signaux précédemment injectés. Dans cette optique, les pompes ne sont que les sources de signaux particulières.

Dans les modes de réalisation des figures sont mentionnées des sources de signaux à des longueurs d'ondes différentes. En effet, le réseau de Bragg utilisé dans

30 les exemples comme moyens de réflexion réfléchit les signaux provenant des pompes précédentes, mais réfléchirait aussi les signaux de la pompe voisine s'ils présentaient la même longueur d'onde que les pompes précédentes. Si l'on utilisait d'autres

moyens de réflexion semi-réfléchissants, on pourrait injecter la même longueur d'onde à partir de plusieurs sources.

REVENDICATIONS

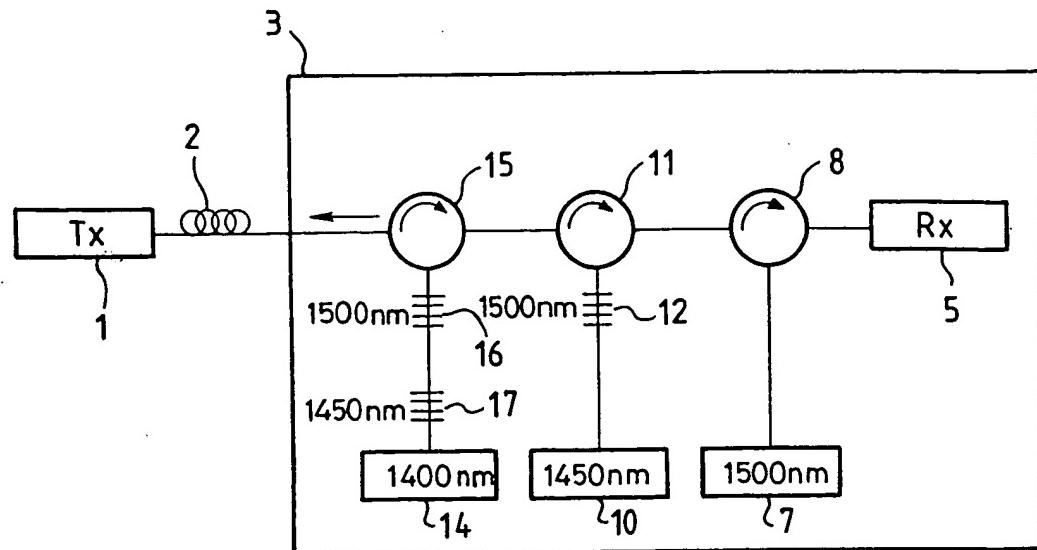
1. Un dispositif pour injecter dans une fibre des signaux provenant de plusieurs sources à des longueurs d'ondes distinctes, comprenant :
 - 5 - une première source de signaux (7) ;
 - un premier circulateur (8) avec une première entrée reliée à la première source ;
 - une deuxième source de signaux (10) ;
 - un deuxième circulateur (11) avec une première entrée reliée à la deuxième source de signaux (10) à travers des moyens de réflexion (12) des signaux provenant de la première source (7), une troisième entrée reliée à une deuxième entrée du premier circulateur, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des première et deuxième sources de signaux.
- 15 2. Le dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
 - une troisième source de signaux (14) ;
 - un troisième circulateur (15) avec une première entrée reliée à la troisième source de signaux (14) à travers des moyens de réflexion (16, 17) des signaux provenant des première (7) et deuxième (10) sources, une troisième entrée reliée à la deuxième entrée du deuxième circulateur, et une deuxième entrée fournissant les signaux provenant des première, deuxième et troisième sources de signaux.
- 25 3. Le dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
 - une n-ième source de signaux ;
 - un n-ième circulateur, avec une première entrée reliée à la n-ième source de signaux à travers des moyens de réflexion des signaux provenant des sources de rang inférieur à n, une troisième entrée reliée à la deuxième entrée du circulateur de rang n-1, et une deuxième entrée fournissant les
- 30

signaux provenant des sources de signaux de rang 1 à n,
avec n un entier variant de 4 à M, M étant le nombre total de sources
injectées .

4. Le dispositif selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que chacune
5 des sources de signaux comprend une pompe.
5. Le dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les
moyens de réflexion comprennent des réseaux de Bragg.
6. Un amplificateur comprenant un dispositif selon l'une des revendications 1 à
10 5 pour l'injection des signaux de pompe, et une fibre d'amplification reliée à
la deuxième sortie du circulateur de rang le plus élevé.
7. L'amplificateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la fibre
d'amplification (2) est une fibre de ligne.
8. L'amplificateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la fibre
d'amplification (21) n'est pas une fibre de ligne.
- 15 9. L'amplificateur selon la revendication 6, 7 ou 8, caractérisé en ce que
l'amplification s'effectue dans la fibre d'amplification par diffusion Raman
stimulée.
10. Un système de transmission à fibre optique comprenant un amplificateur
selon la revendication 6, 7, 8 ou 9.

1/1

FIG_1



FIG_2

